

Farklı yöntemlerle ısıtılmış ağaç malzemelerde yoğunluk ve eğilme direncinin belirlenmesi

Determination of density and bending strength of heat-treated wood materials with different methods

Selçuk BAYRAKTAR¹

Hüseyin PELİT²

¹ Mass Mimarlık, Modoko Mobilyacılar Sitesi, 34775, Ümraniye, İstanbul

² Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Düzce

Sorumlu yazar (Corresponding author)

Hüseyin PELİT

huseyinpelit@duzce.edu.tr

Geliş tarihi (Received)

20.03.2022

Kabul Tarihi (Accepted)

14.06.2022

Sorumlu editör (Corresponding editor)

Samet DEMİREL

sdemirel@ktu.edu.tr

Atıf (To cite this article): Bayraktar, S. & Pelit, H. (2022). Farklı yöntemlerle ısıtılmış ağaç malzemelerde yoğunluk ve eğilme direncinin belirlenmesi. Ormanlık Araştırma Dergisi, Karok 2021, 355-362. DOI: 10.17568/ogmoad.1090574

Öz

Bu çalışmada, ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk ve eğilme direnci üzerine farklı yöntem ve sıcaklık koşullarında uygulanan ısıtma işlemlerinin etkisi analiz edilmiştir. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kayın (*Fagus sylvatica* L.) odunu örnekleri ThermoWood, yağlı işlem ve sıcak hava yöntemleri kullanılarak üç farklı sıcaklıkta (170 °C, 190 °C ve 210 °C) ayrı ayrı ısıtılma tabii tutulmuştur. Deney örneklerinin yoğunluk ve eğilme direnci sırası ile TS 2472 ve TS 2474 esaslarına uyularak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ısıtma işlem yöntemi ve işlem sıcaklığındaki farklılaşma ahşap örneklerinin yoğunluk ve eğilme direnci değerleri üzerinde önemli bulunmuştur. Isıtma işlem yöntemi açısından, her iki ağaç türü için en yüksek yoğunluk ve eğilme direnci yağlı ısıtma işlem görmüş örneklerde elde edilmiştir. Ayrıca, sıcak hava yöntemine göre ThermoWood yöntemi ile işlem görmüş örneklerde daha yüksek direnç değerleri bulunmuştur. Tüm yöntemler için, ısıtma işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak ahşap örneklerde yoğunluk ve eğilme direnci değerleri azalmıştır. Sıcaklık artışından kaynaklanan yoğunluk ve direnç kayıpları yağlı ısıtma yönteminde en az seviyede iken, sıcak hava yönteminde en fazla orana sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Eğilme direnci, Isıtma işlem yöntemi, Yoğunluk

Abstract

In this study, the effect of heat treatments applied in different methods and temperature conditions on the air-dry density and bending strength of wood materials was analyzed. Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) wood samples were heat treated separately at three different temperatures (170 °C, 190 °C and 210 °C) using ThermoWood, oil treatment and hot air methods. Density and bending strength of the test samples were determined in accordance with the principles of TS 2472 and TS 2474, respectively. According to the results of the study, the variation in heat treatment method and processing temperature was found to be significant on the density and bending strength values of the wood samples. In terms of heat treatment method, the highest density and bending strength for both wood species were obtained in oil heat-treated samples. In addition, higher strength values were found in the samples treated with the ThermoWood method compared to the hot air method. For all methods, the density and bending strength values of the wood samples decreased depending on the increase in the heat treatment temperature. Density and strength losses due to temperature increase were determined the lowest in the oil heat treatment method and the highest in the hot air method.

Keywords: Wood materials, Bending strength, Heat treatment method, Density



Creative Commons Atıf -
Türetilemez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

Ağaç malzeme, sahip olduğu üstün özelliklerinden dolayı yapısal ve yapısal olmayan birçok uygulamada kullanılmaktadır. Ancak boyutsal kararlılığı ve dayanıklılığının yeterli olmaması ahşabın kullanım alanlarını sınırlayabilmektedir. Kaliteli ahşabın temin edilmesindeki zorluklar, daha hızlı büyüyen ve daha az dayanıklı türlerin artması ahşap özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik modifikasyon çalışmalarına hız kazandırmıştır. Isıl işlem, kimyasal modifikasyon, yüzey modifikasyonu, farklı emprenye ve yoğunlaştırma işlemleri ahşabın modifikasyonu için uygulanmaktadır (Rowell, 2012; Sandberg ve ark., 2017).

Isıl işlem, 160 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta, kimyasal katkı maddeleri olmadan ve sınırlı bir oksijen ortamında, ahşabın bazı özelliklerini geliştirmek için genel kabul görmüş ve ticarileştirilmiş bir prosedürdür (Militz 2005; Torniaainen ve ark., 2021). Ahşabın termal modifikasyonu çevre dostu olarak kabul edilir ve bugüne kadarki en çok ticarileşmiş ahşap modifikasyon prosesi olarak bilinir (Sandberg ve ark., 2021). Günümüzde ısıl işlem uygulamaları, farklı Avrupa ülkelerinde değişik isim ve yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunların içinde en yaygın olanları; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan ThermoWood yöntemi (Finlandiya), buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi (Hollanda), inert gaz kullanılan Retification yöntemi (Fransa) ve sıcak yağ kullanılan (Almanya) yöntemdir (Mayes ve Oksanen, 2002; Sandberg ve ark., 2013).

Isıl işlem sürecindeki uygulanan yüksek sıcaklıklar sonucunda ahşap malzemenin kimyasal bileşenlerinin (hemiselüloz, selüloz ve lignin) yapısında bazı kalıcı değişiklikler veya bozunmalar meydana gelir (Kamdem ve ark., 2002; Tjeerdsma ve Militz, 2005; Yang ve ark., 2007; Kocaefe ve ark., 2008; Aydemir ve ark., 2011; Sikora ve ark., 2018). Ahşabın kimyasal bileşiklerinin termal bozunması, önce hemiselülozlarda ve daha sonra sırasıyla selüloz ve ligninde meydana gelir (Kamdem ve ark., 2002; Yang ve ark., 2007). Isıl işlem sonucu, ahşabın higroskobiklik özelliği azalır ve boyutsal kararlılığı artar (Bekhta ve Niemz 2003; Korkut ve Güller 2008; Kaygın ve ark., 2009; Pelit ve ark., 2016; Kocaefe ve ark., 2015). Ayrıca böcek, mantar ve mikroorganizmalara karşı direnci iyileşir (Kamdem ve ark., 2002; Lekounogou ve Kocaefe, 2014; Yalçın ve Şahin 2015). Isıl işlemli ahşabın rengi ise homojen bir şekilde daha ilgi çekici koyu tonlara dönüşebilmektedir (Gonzalez-Pena ve Hale 2009; Tokar ve ark., 2016; Pelit, 2017; Sivrikaya ve ark., 2019; Torniaainen ve ark.,

2021). Ağaç malzemedeki bu değişimler/dönüşümler özellikle hemiselüloz başta olmak üzere hücre çeper bileşenlerinin kimyasal kompozisyonunda meydana gelen değişimlerle ilişkilidir ve işlem sıcaklığı arttıkça değişikliklerin boyutu da artış göstermektedir (Hill, 2006).

Günümüzde, endüstrileşmiş çoğu ısıl işlem metodu 150 °C ile 260 °C arasındaki sıcaklıklarda ve değişik sürelerde uygulanmaktadır (Sandberg ve ark., 2013). Isıl işlemli ahşabın boyutsal stabilitesinin iyileşmesi ve biyolojik bozunmalara karşı direncinin artması en önemli avantajlarıdır. Ancak, yaşanan kütle kayıpları ve termal bozunma nedeniyle ısıl işlemli ahşabın mekanik direnç özelliklerinin azalması ve kırılabilirliğinin artması önemli dezavantajlarındandır (Bekhta ve Niemz, 2003; Yıldız ve ark., 2006; Boonstra ve ark., 2007; Korkut ve ark., 2008; Kocaefe ve ark., 2008; Perçin ve ark., 2016). Isıl işlem sonucu oluşan ve arzu edilmeyen bu olumsuz etkiler ısıl işlemli ahşabın özellikle yapısal uygulamalardaki genel ticari kullanımını sınırlandırmaktadır (Boonstra, 2008; Esteves ve Pereira, 2009).

Bu çalışmada, kayın ve çam odunu örneklerinin hava kurusu yoğunluk ve statik eğilme direncine farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık seviyelerinde uygulanan ısıl işlemlerin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ahşap örnekler ThermoWood, yağlı işlem ve sıcak hava yöntemleri ile 170 °C, 190 °C ve 210 °C sıcaklıklarda ayrı ayrı ısıl işleme tabi tutularak yoğunluk ve eğilme direncindeki değişiklikler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç malzeme

Çalışmada, geniş yapraklı ağaçlardan Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.), iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunları kullanılmıştır. Ağaç malzemeler, bir kereste işletmesinden hava kurusu halde ve tesadüfi örnekleme yöntemine göre temin edilmiştir. Kerestelerin büyüme kusuru içermemesine, budaksız, ardaksız, çürüksüz ve sağlam olmasına özen gösterilmiştir. Hava kurusu haldeki latalar, TS 2470 (1976)'te belirtilen esaslara göre, diri odun kısımlarından 350×25×25 mm (boyuna yön × radyal yön × teğet yön) taslak ölçülerinde yeterli miktarda kesilmiştir. Örnekler, ısıl işlem öncesi TS 2471 (1976)'e göre 20±2 °C sıcaklıkta ve bağıl nemi %65±3 olan iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Isıl işlem uygulamaları

Isıl işlem uygulamaları üç farklı yöntem (ThermoWood, sıcak yağ ve sıcak hava yöntemleri) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm ısıl işlem yöntemleri için, ağaç malzemelere hedeflenen üç farklı sıcaklık seviyesinde (170 °C, 190 °C ve 210 °C) ısıl işlem uygulanmıştır. Her üç yöntem için, hedeflenen sıcaklıklardaki ısıl işlem süresi 2 saat, toplam ısıl işlem süresi ise 36 saat sürmüştür.

ThermoWood yöntemi üç aşamada (yüksek sıcaklıkta kurutma, ısıl işlem, soğutma ve kondisyonlama) gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ısı ve buhar kullanılarak fırın sıcaklığının hızlı bir şekilde artırılması ile yaklaşık %0 rutubete kadar kurutulmuş olan örnekler ikinci aşamada, hedeflenen sıcaklıklarda ve sürede ısıl işlem uygulanmıştır. Üçüncü aşamada ise sıcaklık düşürülüp su spreyi kullanılarak örneklerin rutubet miktarının yaklaşık %4-6'ya ulaşması sağlanmıştır (FTA, 2003).

Yağlı ısıl işlem yönteminde, örnekler öncelikle bezir yağı ile emprenye edilmiştir. Emprenye öncesi, ahşap örnekler 60 °C sıcaklıktaki etüvde 48 saat süre ile bekletilmiş ve fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Emprenye işlemi dolu hücre metoduna göre kapalı bir tank düzenekte gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ahşap örnekler bir kap içerisine konularak emprenye tankına yerleştirilmiş ve ardından 30 dak. süre ile 760 mm Hg-1 basınca eşdeğer bir ön vakum işlemi uygulanarak ahşap örneklerin hücre boşluklarındaki hava alınmıştır. Daha sonra vakum vanası kapatılarak örnekler vakum altında iken bir hortum aparatıyla örneklerin bulunduğu kap içerisine %25 oranında inceltilmiş emprenye çözeltisi doldurulmuştur. Ardından, 30 dak. süre ile 8kp/cm² basınç uygulanarak emprenye işlemi bitirilmiştir (Bozkurt ve ark., 1993).

Emprenye işlemi sonrası, örneklerin üzerinde kalan fazla emprenye çözeltisi silinerek hemen ağırlık tartımları yapılmış ($\pm 0,01$ g. hassasiyetinde) ve yaş ağırlıklar belirlenmiştir. Deney örnekleri tarafından absorbe edilen emprenye maddesi retensiyon miktarları Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

Eşitlikte;

R: retensiyon miktarı (kg/m³),

G: Mes - M0e0 (emprenye sonrası yaş ağırlık - emprenye öncesi ağırlık) (g),

C: emprenye çözeltisinin konsantrasyonu (%),

V: örnek hacmini (cm³) ifade etmektedir.

Yağlı ısıl işlem ve sıcak hava yöntemleri sıcaklık duyarlılığı ± 3 °C olan ısıl işlem fırınında uygulanmıştır. Her iki yöntemde, ahşap örnekler atmosferik basınç altında hedeflenen sıcaklıklarda ve sürede ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlemler sonrası, deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Ardından örnekler eğilme direnci testi için, 325×20×20 mm (boyuna yön × radyal yön × teğet yön) ölçülerinde ve yoğunluk testi için, 30×20×20 mm (boyuna yön × radyal yön × teğet yön) ölçülerinde kesilmiştir. Eğilme direnci ve yoğunluk testleri için 216'şar adet (2 ağaç türü × 3 ısıl işlem yöntemi × 4 ısıl işlem sıcaklığı × 9 tekrür) olmak üzere toplam 432 adet örnek hazırlanmıştır.

2.2.2. Hava kurusu yoğunlukların belirlenmesi

Hava kurusu yoğunluk tayini için, TS 2472 (1976) standardına uygun olarak hazırlanan örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir (Şekil 1). Bu durumdaki örneklerin kütleleri (M_{12}) $\pm 0,01$ gr hassasiyetindeki analitik terazide tartılmış, boyutları ise dijital kumpas ile ölçülerek ($\pm 0,01$ mm hassasiyetinde) hacimleri (V_{12}) belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler kullanılarak, hava kurusu yoğunluklar (δ_{12}) Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\delta_{12} = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$



Şekil 1. Deney örneklerinin iklimlendirilmesi
Figure 1. Climatization of test samples

2.2.3. Eğilme direncinin belirlenmesi

Eğilme direnci deneyleri TS 2474 (1976) esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Deney uygulamasına geçmeden önce, örneklerin orta kısımlarının kalınlık ve genişlikleri dijital kumpas ile ölçülerek ($\pm 0,01$ mm hassasiyetinde) kaydedilmiştir. Üni-versal test cihazının yükleme hızı, örneklerdeki kırılmanın yükleme anından itibaren $1,5 \pm 0,5$ dk. içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde

ayarlanmıştır (Şekil 2). Deneysel sonucunda kırılma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmiş ve eğilme direnci Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3F_{max}L_s}{2ab^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3)$$

Eşitlikte;

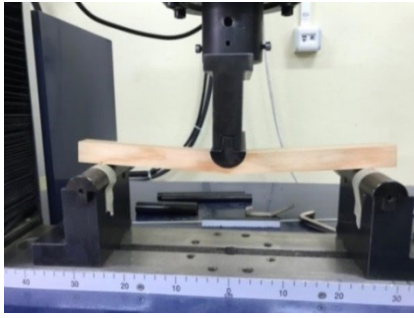
σ_e : eğilme direnci (N/mm²),

F_{max} : kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

L_s : dayanak açıklığı (mm),

a : deney örneğinin genişliği (mm),

b : deney örneğinin kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 2. Eğilme direnci testi uygulanması
Figure 2. Application of bending strength test

2.2.4. İstatistik analiz

Çam ve kayın odunu örneklerinin hava kurusu yoğunluk ve eğilme direnci üzerine farklı ısı işlem koşulları etkisinin belirlenmesi amacıyla 0,05 önem düzeyinde çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Her iki ağaç türünde ısı işlem yöntemi ve ısı işlem sıcaklığı faktörlerinin kendi içerisindeki farklılıklar, Duncan testleri ile homojenlik gruplarına ayrılarak karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Retensiyon değeri

Yağlı ısı işlem öncesi bezir yağı ile empenye edilmiş çam ve kayın örneklerinde belirlenen retensiyon değeri ortalamaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Retensiyon analiz sonuçları
Table 1. Retention analysis results

Ağaç türü	Retensiyon (kg/m ³)	
	\bar{x}	St.S
Çam	345	28
Kayın	365	14

\bar{x} : Aritmetik ortalama (Arithmetic mean), St.S: Standart sapma (Standard deviation)

Tablo 1. sonuçlarına göre, sarıçam örneklerine göre kayın örneklerinde daha yüksek retensiyon değerleri elde edilmiştir. Ağaç türlerinin empenye edilebilme özelliklerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

3.2. Hava kurusu yoğunluk

Farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık koşullarında ısı işlem görmüş çam ve kayın odunu örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ait varyans analizi sonuçları
Table 2. Analysis of variance results of air-dry density values

Faktör	Çam		Kayın	
	F değeri	$p \leq 0,05$	F değeri	$p \leq 0,05$
Isıl işlem yöntemi (A)	252,3381	0,0000*	922,8421	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (B)	2,8285	0,0440*	6,7705	0,0018*
Etkileşim (AB)	0,5479	ns	1,4692	ns

*: 0,05'e göre önemli (Significant at 95% confidence level), ns: Önemsiz (Not significant)

Varyans analizi sonucuna göre, çam ve kayın örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerinde ısı işlem yöntemi ve ısı işlem sıcaklığı faktörleri önemli, bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri ise önemsiz bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Çam ve kayın örneklerinin yoğunluk özellikleri için ısı işlem yöntemi ve ısı işlem sıcaklığı düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Isıl işlem yöntemine ilişkin, her iki ağaç türünde en yüksek yoğunluk değeri yağlı ısı işlem görmüş örneklerde belirlenmiş, en düşük ise sıcak hava ve ThermoWood yöntemi ile işlem görmüş örneklerde elde edilmiştir (Tablo 3). Tüm sıcaklık seviyeleri için, ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile muamele edilmiş ahşap örneklerinde hava kurusu yoğunluk değeri kontrol (ısı işlemsiz) örneklerine göre azalmıştır. Sıcak hava yönteminde genel olarak daha düşük yoğunluk değerleri elde edilmiş ancak, istatistiksel olarak ThermoWood yöntemi ile aralarında bir fark gözlenmemiştir. Isıl işlem sonrası yoğunluktaki azalma ahşap örneklerinin kütle kayıpları ile açıklanabilir (Esteves ve Pereira 2009; Korkut ve Kocaefe, 2009).

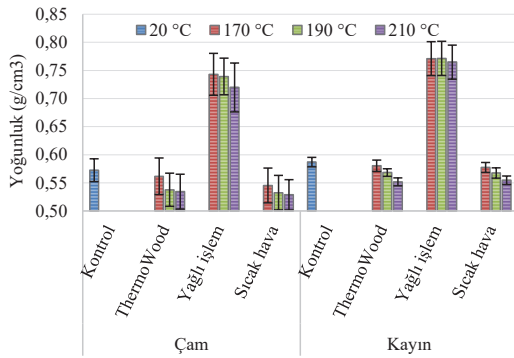
Tablo 3. Isıl işlem yöntemi ve ısı işlem sıcaklığı düzeyinde ahşap örneklerinin hava kurusu yoğunluk

değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları Table 3. Duncan test comparison results of air-dry density values of wood samples at the level of heat treatment method and heat treatment temperature

Faktör	Çam		Kayın	
	OD (g/cm ³)	HG	OD (g/cm ³)	HG
Isıl işlem yöntemi				
Kontrol	0,573	b	0,587	b
ThermoWood	0,545	c	0,567	c
Yağlı işlem	0,734	a	0,769	a
Sıcak hava	0,535	c	0,566	c
Isıl işlem sıcaklığı				
170 °C	0,606	a	0,629	a
190 °C	0,595	ab	0,623	b
210 °C	0,588	b	0,614	c

OD: Ortalama değer (Mean value), HG: Homojenlik gurubu (Homogeneity group)

Diğer taraftan, yağlı ısıl işlem görmüş tüm ahşap örneklerde yoğunluk değerleri artmıştır (Tablo 3). Bu durum, emprenye kimyasalı emdirilen örneklerdeki ağırlık artışları ile açıklanabilir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar emprenye sonrası hesaplanan retensiyon değerleri ile paralellik göstermiştir (Tablo 1). Kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında, yağlı ısıl işlem görmüş çam ve kayın örneklerin hava kuru yoğunluk değeri sırası ile %29 ve %31'e kadar artmıştır.



Şekil 3. Farklı koşullarda ısıl işlem görmüş çam ve kayın örneklerin hava kuru yoğunluk ortalama değerleri

Figure 3. Air-dry density average values of pine and beech samples heat-treated under different conditions

Isıl işlem sıcaklığı düzeyinde, her iki ağaç türü için en yüksek yoğunluk değeri 170 °C sıcaklıkta ısıl işlemlenmiş örneklerde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 3). Uygulanan tüm ısıl işlem yöntemlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak çam ve kayın örnek-

lerin hava kuru yoğunluk değeri azalmıştır. Bu durum ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile ısıl işlem görmüş örneklerde daha belirgindir (Şekil 3).

Literatürde, ısıl işlem görmüş ahşapta sıcaklık artışına bağlı olarak meydana gelen yoğunluk azalmasının özellikle hemiselülozların yıkımlanması ve ekstraktiflerin buharlaşması sonucu kütle kayıplarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Boonstra 2008; Esteves ve Pereira 2009). Ayrıca, sıcaklık artışına bağlı olarak ahşap örneklerin denge rutubet miktarındaki azalmanın yoğunluk değerlerinde bir düşüşe sebep olduğu söylenebilir (Aytin ve ark., 2015; Boonstra, 2008; Esteves ve Pereira 2009; Pelit ve Yorulmaz 2019).

3.3. Eğilme direnci

Farklı yöntem ve farklı sıcaklıklar uygulanarak ısıl işlem görmüş çam ve kayın odunu örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Eğilme direnci değerleri için varyans analizi sonuçları
Table 4. Analysis of variance results for bending strength values

Faktör	Çam		Kayın	
	F değeri	$p \leq 0,05$	F değeri	$p \leq 0,05$
Isıl işlem yöntemi (A)	21,7677	0,0000*	66,8504	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (B)	130,5482	0,0000*	511,5733	0,0000*
Etkileşim (AB)	2,4553	0,0298*	9,0672	0,0000*

*: 0,05'e göre önemli (Significant at 95% confidence level)

Tablo 4'e göre, çam ve kayın odunu örneklerin eğilme direnci değerleri üzerinde ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$). Çam ve kayın örneklerin eğilme direnci özellikleri için ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'e göre; ısıl işlem yöntemine ilişkin en yüksek eğilme direnci değeri her iki ağaç türünde de yağlı ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük ise sıcak hava yöntemi ile işlem görmüş örneklerde belirlenmiştir. Çam ve kayın odunu örneklerinin eğilme direnci, tüm ısıl işlem uygulamalarından sonra azalmıştır. Ancak, düşük sıcaklıkta (170 °C) yağlı ısıl işlem görmüş örneklerin eğilme direnci kontrol (ısı işlemlenmiş) örneklerle benzer bulunmuştur (Şekil 4).

Tablo 5. Isıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı düzeyinde ahşap örneklerin eğilme direnci değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları

Table 5. Duncan test comparison results of the bending strength values of wood samples at the level of heat treatment method and heat treatment temperature

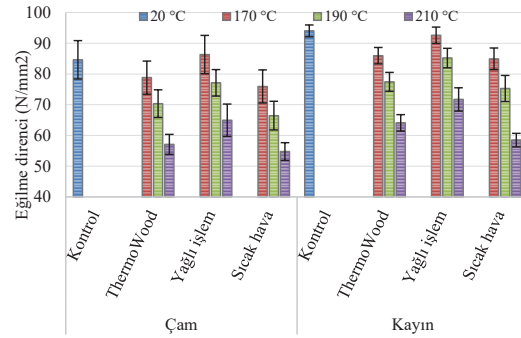
Faktör	Çam		Kayın	
	OD (N/mm ²)	HG	OD (N/mm ²)	HG
Isıl işlem yöntemi				
ThermoWood	72,72	b	80,38	b
Yağlı işlem	78,26	a	85,88	a
Sıcak hava	70,45	c	78,18	c
Isıl işlem sıcaklığı				
Kontrol	84,62	a	94,02	a
170 °C	80,37	b	87,83	b
190 °C	71,31	c	79,30	c
210 °C	58,94	d	64,76	d

OD: Ortalama değer (Mean value), HG: Homojenlik gurubu (Homogeneity group)

Tüm sıcaklık seviyeleri için eğilme direnci, yağlı ısıl işlem görmüş örneklerde daha yüksek bulunmuş ve bunu ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem görmüş örnekler izlemiştir. Sıcak hava yöntemi ile muamele edilmiş örneklerde ise en düşük direnç değerleri ölçülmüştür. Isıl işlem sürecindeki buhar uygulamasının ve özellikle ısıl işlem öncesi gerçekleştirilen bezir yağı ile emprenye işleminin test sonuçlarını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Önceki çalışmalarda, ısıl işlem uygulamalarının proses koşullarına (işlem sıcaklığı, işlem süresi, atmosferik şartlar vb.) bağlı olarak ahşabın kimyasal bileşenlerinde termal bozunmalara neden olduğu rapor edilmiştir (Tjeerdsma ve Militz 2005; Boonstra ve ark., 2006; Yang ve ark., 2007; Kocaefe ve ark., 2008; Tümen ve ark., 2010; Aydemir ve ark., 2011). Yağ veya su buharı kullanımının, ısıl işlemlili ağaç malzemedeki meydana gelen ve malzeme direncini olumsuz bir şekilde etkileyen termal bozunmaların şiddetini ve miktarını azaltmış olduğu söylenebilir. Ayrıca ısıl işlem sonrası belirlenen yoğunluk değerleri de sonuçlar üzerinde bir etkiye sahip olabilir.

Isıl işlem sıcaklığı düzeyinde, her iki ağaç türünde de en yüksek eğilme direnci değeri kontrol (ısıl işlemsiz) örneklerinde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıl işlem görmüş örneklerde belirlenmiştir (Tablo 5). Tüm yöntemler için, ısıl işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak ahşap örneklerin eğilme direncinde azalma meydana gelmiştir. Sıcak hava yöntemi ile ısıl işlem görmüş örneklerde bu durum daha belirgindir (Şekil 4). Kontrol örnek-

leri ile karşılaştırıldığında, eğilme direnci değerleri 170 °C, 190 °C ve 210 °C'de ısıl işlem sonrası çam örneklerde sırası ile %5, %16 ve %30 ve kayın örneklerde sırası ile %7, %16 ve %31 azalmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıkta ısıl işlem sonrası, ahşap örneklerin kimyasal bileşenlerinin yapısındaki muhtemel bozunmaların eğilme direnci sonuçları üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, ısıl işlem sonrası ahşap bileşenlerindeki termal bozunmaların bir sonucu olarak ahşabın kırılabilirliğinin arttığı ve mekanik direnç özelliklerinin azaldığı belirtilmiştir (Bekhta ve Niemz, 2003; Yıldız ve ark., 2006; Boonstra ve ark., 2007; Kocaefe ve ark., 2008; Korkut ve ark., 2008; Perçin ve ark., 2016; Pelit ve ark., 2018). Ayrıca, termal işlemin ahşap malzemedeki daha düşük eğilme direnci gibi bazı olumsuz etkilere neden olduğu ve dirençteki azalmanın termal işlem yöntemi, işlem sıcaklığı, işlem süresi ve ağaç türüne bağlı olduğu ifade edilmiştir (Hill, 2006).



Şekil 4. Farklı koşullarda ısıl işlem görmüş çam ve kayın örneklerin eğilme direnci ortalama değerleri
Figure 4. Bending strength average values of pine and beech specimens heat-treated under different conditions

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, çam ve kayın odunu numunelerinin hava kurusu yoğunluk ve eğilme direnci üzerine farklı ısıl işlem koşullarının etkisi incelenmiştir. ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile muamele edilmiş ahşap örneklerde tüm sıcaklık seviyeleri için, hava kurusu yoğunluk kontrol (işlemsiz) örneklerine göre azalmıştır. Diğer taraftan, yağlı ısıl işlem görmüş çam ve kayın örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri sırası ile %29 ve %31'e kadar artmıştır. Tüm yöntemler için, ısıl işlem sıcaklığındaki artış yoğunluk değerlerinde bir düşüşe sebep olmuştur.

Çam ve kayın örneklerinin eğilme direnci tüm ısıl işlem uygulamalarından sonra azalmıştır. Eğilme direncindeki düşüş oranı yağlı ısıl işlem görmüş örneklerde en az seviyede iken, en çok sıcak hava

yöntemi ile muamele edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. Tüm ısıtma işlem yöntemlerinde, sıcaklık artışına bağlı olarak direnç değerleri azalmıştır. Kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında, sıcak hava yöntemiyle 210 °C'de ısıtma işlem görmüş çam ve kayın örneklerde eğilme direnci sırası ile %35 ve %38 azalmıştır.

Sonuç olarak, ısıtma işlem sonrası meydana gelen yoğunluk ve direnç kayıplarını asgari seviyede tutmak için birincil olarak yağlı ısıtma yönteminin, ikincil olarak ise ThermoWood yönteminin tercih edilmesi önerilebilir.

Açıklama

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi'nin 50. yılına özel etkinlikleri kapsamında, 6 - 9 Aralık 2021 tarihleri arasında düzenlenen IV. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Ancak, tam metin halinde hiçbir yerde yayımlanmamıştır.

Kaynaklar

Aydemir, D., Gunduz, G., Altuntas, E., Ertas, M., Sahin, H. T., Alma, M. H. 2011. Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and Uludağ fir wood, *BioResources* 6(2), 1308-1321. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1308-1321>

Aytin, A., Korkut, S., Unsal, O., Cakicier, N. 2015. The effects of heat treatment with the ThermoWood method on the equilibrium moisture content and dimensional stability of wild cherry wood, *BioResources* 10(2), 2083-2093. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2083-2093>

Bekhta, P., Niemz, P. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforchung* 57(5), 539-546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>

Boonstra, M. J., Rijdsdijk, J. F., Sander, C., Kegel, E., Tjeerdsma, B., Miltz, H., Stevens, M. 2006. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods, *Maderas. Ciencia y Tecnología* 8(3), 193-208. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2006000300006>

Boonstra, M. J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B. F., Kegel, E. V. 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents, *Ann. For. Sci.* 64(7), 679-690. <https://link.springer.com/article/10.1051/forest:2007048>

Boonstra, M. J. 2008. A Two-Stage Thermal Modification of Wood, Ph.D. Dissertation, Ghent University, Ghent, Belgium, and Université Henry Poincaré, Nancy, France. <https://biblio.ugent.be/publication/468990>

Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. 1993. Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 3779/425.

Esteves, B. M., Pereira, H. M. 2009. Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370-404. <https://doi.org/10.15376/biores.4.1.370-404>

FTA, 2003. Finnish Thermowood Association (thermowood.fi). ThermoWood Handbook, FIN-00171, Helsinki, Finland.

González-Peña, M. M., Hale, M. D. 2009. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 1: Colour evolution and colour changes. *Holzforchung*. <https://doi.org/10.1515/HF.2009.078>

Hill, C. A. S. 2006. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, Wiley, Chichester, United Kingdom.

Kamdem, D.P., Pizzi, A., Jermannaud, A., 2002. Durability of heat treated wood. *Holz als Roh -und Werkstoff* 60(1): 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00107-001-0261-1>

Kaygın, B., Gunduz, G., Aydemir, D. 2009. Some physical properties of heat-treated paulownia (*Paulownia elongata*) wood, *Dry. Technol.* 27(1), 89-93. <https://doi.org/10.1080/07373930802565921>

Kocaefe, D., Poncsak, S., Boluk, Y. 2008. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3(2), 517-537. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.517-170>

Kocaefe, D., Huang, X., Kocaefe, Y. 2015. Dimensional stabilization of wood, *Curr. For. Rep.* 1(3), 151-161. <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0017-5>

Korkut, S., Kok, M. S., Korkut, D. S., Gurleyen, T. 2008. The effects of heat treatment on technological properties in red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood, *Bioresource Technology*, 99(6), 1538-1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.021>

Korkut, D. S., Guller, B. 2008. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology*, 99(8), 2846-2851. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.043>

Korkut, S., Kocaefe, D. 2009. Isıtma işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi*, 5(2), 11-34.

Lekounougou, S., Kocaefe, D. 2014. Durability of thermally modified *Pinus banksiana* (Jack pine) wood against brown and white rot fungi, *Int. Wood Prod. J.* 5(2), 92-97. <https://doi.org/10.1179/2042645313Y.0000000057>

Mayes, D., Oksanen, O. 2002. ThermoWood Handbook, Finnforest, Finland

Miltz, H. 2005. Preface of the second European Conference on Wood Modification, in *Proceedings for the 2nd European conference on wood modification*, October 6-7 2005, Göttingen, Germany.

Pelit, H., Budakci, M., Sonmez, A. 2016. Effects of heat

- post-treatment on dimensional stability and water absorption behaviours of mechanically densified Uludağ fir and black poplar woods. *BioResources*, 11(2), 3215-3229. <https://doi.org/10.15376/biores.11.2.3215-3229>
- Pelit, H. 2017. The effect of different wood varnishes on surface color properties of heat treated wood materials. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(2), 262-274. <https://doi.org/10.17099/jffiu.300010>
- Pelit, H., Budakci, M., Sonmez, A. 2018. Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ fir, linden and black poplar woods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(1), 79-87. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1182-y>
- Pelit, H., Yorulmaz, R. 2019. Influence of densification on mechanical properties of thermally pretreated spruce and poplar wood. *BioResources*, 14(4), 9739-9754. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9739-9754>
- Percin, O., Peker, H., Atilgan, A. 2016. The effect of heat treatment on the some physical and mechanical properties of beech (*Fagus orientalis* lipsky) wood. *Wood Research*, 61(3), 443-456.
- Rowell R. M. 2012. Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780203492437>
- Sandberg, D., Haller, P., Navi, P. 2013. Thermo-hydro and thermo-hydronechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products, *Wood Materials Science & Engineering* 8(1), 64-88. <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.751935>
- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G. 2017. Wood modification technologies-a review. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 895-908. <https://doi.org/10.3832/ifer2380-010>
- Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. 2021. Wood Modification Technologies. Principles, Sustainability, and the Need for Innovation (Boca Raton: CRC Press), 432 pp. <https://doi.org/10.1201/9781351028226>
- Sikora, A., Kačík, F., Gaff, M., Vondrová, V., Bubeníková, T., Kubovský, I. 2018. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood, *J. Wood Sci.* 64(4), 406-416. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1721-0>
- Sivrikaya, H., Tesařová, D., Jeřábková, E., Can, A. 2019. Color change and emission of volatile organic compounds from Scots pine exposed to heat and vacuum-heat treatment. *Journal of Building Engineering*, 26, 100918. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100918>
- Tjeerdsma, B., Militz, H. 2005. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood, *Holz als Rohund Werkst* 63(2), 102-111. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0532-8>
- Toker, H., Baysal, E., Kotekli, M., Turkoglu, T., Kart, S., Sen, F., Peker, H. 2016. Surface characteristics of Oriental beech and Scots pine woods heat-treated above 200 °C, *Wood Res.* 61(1), 43-54.
- Torniainen, P., Jones, D., Sandberg, D. 2021. Colour as a quality indicator for industrially manufactured ThermoWood. *Wood Material Science & Engineering*, 16:4, 287-289. <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1958920>
- Tumen, İ., Aydemir, D., Gunduz, G., Uner, B., Cetin, H. 2010. Changes in the chemical structure of thermally treated wood, *BioResources* 5(3), 1936-1944. <https://doi.org/10.15376/biores.5.3.1936-1944>
- TS 2470, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- TS 2471, 1976. Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü (tse.org.tr), Ankara.
- Yalcin, M., Sahin, H. İ. 2015. Changes in the chemical structure and decay resistance of heat-treated narrow-leaved ash wood, *Maderas- Cienc. Tecnol.* 17(2), 435-446. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000040>
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicelluloses, cellulose and lignin pyrolysis, *Fuel* 86(12-13), 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Yildiz, S., Gezer, E. D., Yildiz, U. C. 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat, *Build. Environ.* 41(12), 1762-1766. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017>